

# **Ressourcenschonung durch zukünftige Technologien - Potentiale im Straßen- und Luftverkehr**

Papier des Wissenschaftlichen Beirats  
beim Bundesminister für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen

**Oktober 2002**

Prof. Dr. Gerd Aberle, Gießen  
Prof. Dr. Herbert Baum, Köln  
Prof. Dr. Klaus J. Beckmann, Aachen  
Prof. Dr. Karl-Heinz Breitzmann, Rostock  
Prof. Dr. Werner Brilon, Bochum (Vorsitzender)  
Prof. Dr. Horst Brunner, Dresden  
Prof. Dr. Hans-Jürgen Ewers, Berlin †  
Prof. Dr. Manfred Fricke, Berlin  
Prof. Dr. Ingrid Göpfert, Marburg  
Prof. Dr. Gösta B. Ihde, Mannheim  
Prof. Dr. Peter Kirchhoff, München  
Prof. Dr. Günther Knieps, Freiburg  
Prof. Dr. Franz-Josef Radermacher, Ulm  
Prof. Dr. Werner Rothengatter, Karlsruhe  
Prof. Dr. Jürgen Siegmann, Berlin

---

**Inhalt**

<b>1.</b>	<b>Notwendigkeit innovativer Verkehrstechnologien .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Problemlage .....</b>	<b>4</b>
2.1	Klima und Schadstoffe .....	4
2.2	Erschöpfbarkeit der Ressourcen.....	6
2.3	Verkehrssicherheit .....	7
2.4	Verkehrslärm.....	7
<b>3.</b>	<b>Entwicklungen im Straßenverkehr .....</b>	<b>9</b>
3.1	Ausgangssituation und Perspektiven .....	9
3.2	Antriebstechnik .....	9
3.2.1	Kurz- und mittelfristige Lösungen	
3.2.2	Langfristige Lösungen .....	10
3.2.3	Ergänzende technische Maßnahmen .....	13
3.3	Steuerung des Verkehrsablaufs.....	13
<b>4.</b>	<b>Entwicklungen in der Luftfahrt .....</b>	<b>15</b>
4.1	Ausgangssituation und Perspektiven .....	15
4.2	Antriebstechnik .....	16
4.3	Neue Werkstoffe .....	16
4.4	Aerodynamik.....	17
4.5	Flugführung.....	18
<b>5.</b>	<b>Rolle der staatlichen Technologieförderung im Verkehr .....</b>	<b>19</b>
5.1	Staatliche Technologieförderung in der Marktwirtschaft .....	19
5.2	Strategisches Konzept für die Förderung neuer Verkehrstechnologien .....	21
5.2.1	Initiativen der privaten Wirtschaft.....	22
5.2.2	Aufgaben der öffentlichen Technologieforschung im Verkehr .....	22
5.2.3	Koordination staatlicher und privater Initiativen .....	23
<b>6.</b>	<b>Konsequenzen für die Verkehrspolitik.....</b>	<b>27</b>

## 1. Notwendigkeit innovativer Verkehrstechnologien

Die Lebensstile und das Konsumverhalten der Menschen werden in modernen Gesellschaften immer differenzierter. Sie sind vor allem mit steigender Mobilität verbunden, insbesondere im Sinne einer deutlichen Ausdehnung der Reiseweiten. Unternehmen sind zunehmend international aufgestellt. Sie produzieren in transnationalen Netzen, verteilen ihre Produkte weltweit und nutzen die globalen Beschaffungsmärkte. Zwar wird das Sozialprodukt „leichter“, weil die Massengüterbewegungen je Produktionseinheit rückläufig sind. Andererseits wachsen die Transportentfernungen auf Grund der zunehmenden Vernetzung und räumlichen Arbeitsteilung der Industrie. Alle Vorhersagen weisen darauf hin, daß die Mobilität von Personen und Gütern sowohl in Deutschland als auch weltweit weiter zunehmen wird. Daraus erwachsen vor allem im Straßen- und Luftverkehr zunehmende Nachfragen nach Verkehrsleistungen. Geht man außerdem davon aus, daß die Entwicklungs- und Schwellenländer sich den Konsum- und Produktionsmustern der Industrieländer annähern, so wird der Verkehr in Zukunft vermehrt Ressourcen, insbesondere Energie und Umwelt, in Anspruch nehmen.

Diese Ressourcen unterliegen sich verstärkenden Knappheitsbedingungen. Dies gilt vor allem für die nicht erneuerbaren Energieträger. Dabei ist es im Grundsatz unerheblich, ob fossile Energieträger wie Erdöl in leicht erschließbarer Form den weltweiten Bedarf noch für 40 Jahre oder einige Jahrzehnte länger decken können. Vor dem Hintergrund der sich zuspitzenden Knappheiten und der steigenden Erschließungskosten für fossile Energieträger (z.B. Erdölsände, Erdölschiefer) wird es unumgänglich sein, in der Zukunft effizienter mit erschöpfbaren Ressourcen umzugehen.

Der Beirat behandelt in dieser Stellungnahme die Beiträge der Technikentwicklung zur effizienten Ressourcennutzung in Verkehrssystemen. Dabei werden die Mobilitätspräferenzen der Menschen und die Transportanforderungen der Wirtschaft nicht in Frage gestellt. Im Gegenteil: Die Erhaltung der Mobilität wird als ein wichtiges gesellschaftliches, wirtschaftliches und soziales Ziel anerkannt.

Dabei ist auch zu berücksichtigen, daß der Verkehrssektor selbst einen wesentlichen Bestandteil des wirtschaftlichen Wertschöpfungsprozesses bildet. Die nachhaltige Sicherung von Arbeitsplätzen und die Festigung der Standortvoraussetzungen in allen Wirtschaftsbereichen - insbesondere im Verkehrsgewerbe selbst sowie in der Fahrzeug- und Flugzeugindustrie - müssen als ein wesentliches Anliegen der Politik in Deutschland in die Betrachtungen einbezogen werden.

Der Schwerpunkt der Betrachtung liegt bei den technologischen Entwicklungspotentialen und den Innovationen für Straßen- und Luftverkehrsmittel.<sup>1</sup> Der Grund für diese Fokussierung liegt darin, daß gerade das dynamische Wachstum bei den Verkehrsträgern Straße und Luft in besonderem Maße zu Konflikten mit dem Ziel einer deutlichen Reduzierung des Ressourcenverbrauchs im Verkehr führen wird, wenn nicht technische Weiterentwicklungen einen Beitrag zur Lösung der skizzierten Herausforderungen leisten. Der Staat kann dazu beitragen, den geeigneten Rahmen für die Entwicklung zielkonformer Technikinnovationen zu schaffen, indem er langfristig kalkulierbare Bedingungen mit Hilfe einer geeigneten Steuer-, Investitions- und Regulierungspolitik sowie über gezielte Fördermaßnahmen (z.B. Pilotanwendungen) setzt. Daher gibt der Beirat Hinweise und Empfehlungen zur staatlichen Förderung ressourcensparender Technikentwicklungen im Verkehr.

## 2. Problemlage

### 2.1 Klima und Schadstoffe

Fahrzeuge des Straßen- und des Luftverkehrs werden durch Kraftstoffe aus fossilen Energieträgern angetrieben, die im Fahrzeug zur Erzeugung von Bewegungsenergie verbrannt werden. Damit ist die Erzeugung und Freisetzung von Schadstoffen und klimarelevanten Gasen verbunden. Die Schadstoffemissionen des Verkehrs, die durch Verbrennungsmotoren hervorgerufen werden, betreffen im wesentlichen Kohlenmonoxid (CO), Stickoxide (NO<sub>x</sub>), Kohlenwasserstoff (H<sub>n</sub>C<sub>m</sub>) sowie Partikelemissionen bei Dieselmotoren. Durch die kontinuierliche Verringerung der gesetzlich zulässigen Werte konnten europaweit erhebliche Verbesserungen erreicht werden. So verringerten sich z.B. in Deutschland im Zeitraum von 1990 bis 2000 die durch den Straßenverkehr verursachten CO-Emissionen um 80 %, die NO<sub>x</sub>-Emissionen um 40 %, die H<sub>n</sub>C<sub>m</sub>-Emissionen um 80 % und die Partikelemissionen bei Dieselmotoren um 20 %. Die Einführung der Abgasvorschriften EURO 4 ab 2005 und später EURO 5 wird die Situation weiter verbessern. Hierzu sind allerdings noch erhebliche technische Entwicklungen im Bereich der Antriebsaggregate der Kraftfahrzeuge erforderlich.

Anders stellt sich die Situation bei den Emissionen von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) dar. Kohlendioxid entsteht unvermeidlich bei der Verbrennung von fossilen Kraftstoffen. Die Emission von CO<sub>2</sub> ist deshalb in etwa proportional zum Kraftstoffverbrauch. Kohlendioxid ist zu etwa 50 % ursächlich für den sogenannten zusätzlichen

---

<sup>1</sup> Zu der entsprechenden Thematik bei der Eisenbahn hat sich der Beirat mehrfach, zum Beispiel in seinen Stellungnahmen „Bahnstrukturreform in Deutschland, Empfehlungen zur weiteren Entwicklung“ vom November 1997 und „Steigerung der Leistungsfähigkeit der Bahn“ vom Juli 1998, geäußert.

Treibhauseffekt und damit für die globale Erwärmung der Erdatmosphäre. Da die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland zu etwa 20 % aus dem Verkehrssektor resultieren, ist in Deutschland der Verkehr über das CO<sub>2</sub> zu etwa 10 % am Treibhauseffekt beteiligt. Aufgrund der zunehmenden Gesamtfahrleistung der Kraftfahrzeuge ist dieser Anteil - trotz verbesserter Motorentchnik - im vergangenen Jahrzehnt gestiegen. Dem stehen die Zielmarken des Kyoto-Protokolls (durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Minderung um 5,2 % im Zeitraum von 2008 bis 2012<sup>2</sup>) sowie die nationale Selbstverpflichtung (25 % Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland von 1990 - 2005) entgegen. Weiterhin existiert auf europäischer Ebene eine Selbstverpflichtung der ACEA<sup>3</sup>, den Kraftstoffverbrauch bis 2008 um 25 % zu reduzieren (Basis 1995). Diese Zielmarken zeigen bei der politisch gesetzten sektoralen Betrachtung auch für den Verkehrsbereich einen erheblichen Handlungsbedarf auf.

Der Luftverkehr ist bei einer weltweiten Beförderungsleistung von derzeit (2000) ca. 1,65 Milliarden Passagieren und 30,2 Mio. t Fracht pro Jahr mit 2,5 % an den klimawirksamen CO<sub>2</sub>-Emissionen und an den vom Menschen verursachten Treibhauseffekt mit etwa 3,5 % beteiligt. Eine Besonderheit liegt darin, daß die Schadstoffe der Luftfahrt zum großen Teil in großer Höhe (Tropopause) ausgestoßen werden und dort lange Verweilzeiten haben. Ziel der Flugzeughersteller und -betreiber ist es deshalb, vor allem durch Reduzierung des spezifischen Verbrauchs und durch eine hohe Auslastung der Flugzeugkapazität (Passagiere + Fracht) eine günstige Relation Treibstoffverbrauch/100 PKT (Passenger Kilometers Transported) zu erreichen. Der entsprechende Wert lag bei der Deutschen Lufthansa über die gesamte Flotte gerechnet im Jahr 2001 bei 4,7l/100 PKT. Der spezifische Treibstoffverbrauch soll bezogen auf 1991 bis 2008 weiter um 33 % und bis 2012 um 38 % sinken. Von 1991 bis 2001 wurde bereits eine Verringerung des Treibstoffverbrauchs je Sitzplatzkilometer um 23,4 % erreicht. Durch Weiterentwicklung der Triebwerke sowie Verbesserung des gesamten Fluggerätes sollen die Emissionen mittelfristig um 20 % bei CO<sub>2</sub> und 80 % bei Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) reduziert werden. Dabei ist neben den Anforderungen an die Flugtriebwerke auch der Verbesserung der Umweltverträglichkeit von Flugkraftstoffen Bedeutung beizumessen (geringer Schwefelgehalt).

Der Einfluß des Luftverkehrs auf die globalen Klimaveränderungen ist Gegenstand vieler Diskussionen und großer Forschungsprojekte. Tatsache ist, daß 1999 der Weltluftverkehr 130 Mio. t Treibstoff verbrauchte und für das Jahr 2010 mit 220 Mio. t gerechnet wird. In großen internationalen Forschungsverbänden (DLR, NASA, EU, Hochschulinstitute) stehen große Beträge für wissenschaftliche Untersuchungen zur Verfügung. Durch Versuchsflüge und Klima-Modelle wird versucht, die globalen Zusammenhänge zu erkennen und aufzuklären. Unstrittig ist mittlerweile, daß der

---

<sup>2</sup> Die Europäische Union hat sich zu einer Reduktion von 8 % verpflichtet. Zum Vergleich: USA 7 % (inzwischen aufgekündigt), Japan 6 %.

<sup>3</sup> ACEA = European Automobile Association

Luftverkehr die Konzentration an Ozon in allen Höhenbereichen vergrößert. Die Ozonveränderung wächst annähernd linear mit der Menge emittierter Stickoxide.

Es ist unstrittig, daß entscheidende Schritte zur Verminderung von Schadstoffemissionen und zur Begrenzung des Entstehens klimarelevanter Gase durch weitere technologische Entwicklungen sowohl im Verkehr der Kraftfahrzeuge als auch im Luftverkehr möglich sein werden.

## **2.2 Erschöpfbarkeit der Ressourcen**

Nach jahrelangem Meinungsstreit über die zeitliche Reichweite der förderbaren weltweiten Erdölvorräte ist man sich jetzt weitgehend einig, daß bei den gegebenen Bedingungen (technisch und finanziell) das Maximum der Förderungsmöglichkeiten in ca. 15 Jahren erreicht sein wird und daß die Förderung dann kontinuierlich sinken wird. Der Bedarf hingegen steigt nach aller Voraussicht ständig, so daß ab diesem Zeitpunkt eine Differenz zwischen der Nachfrage und der mit heutigen Mitteln zu fördernden Ölmenge entsteht. Weitere Ressourcen sind in Form von Ölsanden und Ölschiefer vorhanden, deren Nutzbarkeit technisch und wirtschaftlich jedoch noch weitgehend ungeklärt ist. Diese Einschätzung bedeutet nicht, daß ab 2015 die verfügbaren Ölmengen kurzfristig dramatisch zurückgehen. Der weltweite Ölmarkt wird aber in der Folgezeit zunehmend von Knappheitsbedingungen geprägt. Als Folge muß damit gerechnet werden, daß die Kosten für den Rohstoff Erdöl merklich anwachsen werden. Selbst wenn der genaue Zeitpunkt dieser "Energiewende" teilweise noch strittig ist, so erscheint die geschilderte Entwicklung im Grundsatz doch als unabwendbar. Somit gebietet es das Prinzip der Vorsorge in jedem Fall, die Konsequenzen rechtzeitig einzuschätzen und erforderliche Maßnahmen vorzubereiten.

Die bei der absehbaren Verknappung tatsächlich eintretende zeitliche Reichweite des Rohstoffs Erdöl hängt von der Entwicklung der Nachfrage, den Produktionskosten für Rohöl und der davon geprägten Entwicklung des Energiemarktes ab.

Bezieht man die Vorräte an Erdgas und Kohle mit in die Überlegungen zu den Energievorräten der Welt ein, so verlängert sich der Zeitraum für die Nutzung fossiler Energien. Heutige Schätzungen gehen unter der Annahme eines konstanten Verbrauchs von erwartbaren Reichweiten beim Erdgas von ca. 60 Jahren aus, für Steinkohle werden ca. 150 Jahre und bei Braunkohle ca. 200 Jahre geschätzt. Bei der Nutzung von Braun- und Steinkohle als Energieträger für mobile Antriebe ist allerdings zu berücksichtigen, daß für die Umwandlung in geeignete Kraftstoffe ein zusätzlicher Energieaufwand notwendig ist.

Sollten sich jüngste Prognosen über die Verwertbarkeit und Reichweite der Methanhydrat-Vorkommen (in fester Form an Wasser gebundenes Methan auf dem Meeresboden am Rand der Kontinentalplatten und in Permafrostgebieten)

bestätigen, dann könnte sich das Szenario ändern. Die Masse des in Methanhydrat gespeicherten Kohlenstoffs wird zur Zeit als etwa doppelt so hoch eingeschätzt wie der Kohlenstoff der Kohle, des Erdöls und des Erdgases zusammen. Ungeklärt sind bisher für dieses Rohstoffvorkommen die technischen Fördermöglichkeiten sowie die ökologischen Wirkungen am Ort der Förderung sowie die Auswirkungen auf den Treibhauseffekt.

### **2.3 Verkehrssicherheit**

Mit allen Verkehrssystemen ist die Frage nach deren Sicherheit auf das Engste verbunden. So sind allein im Straßenverkehr pro Jahr rund 7000 Todesopfer und rund 500 000 Verletzte in Deutschland zu beklagen (Fahrzeugbestand über 50 Millionen). Der volkswirtschaftliche Schaden wird auf ca. 33 Milliarden EUR geschätzt. Europaweit sind rund 40.000 Verkehrstote und 1,7 Mio Verletzte pro Jahr zu beklagen. Trotz großer Fortschritte auf diesem Gebiet (in Deutschland gab es z.B. 1970 über 21 000 Verkehrstote bei einem Fahrzeugbestand von 21,3 Millionen) sind dringend weitere Maßnahmen erforderlich, um die Unfallzahlen zu senken. Mittel hierzu sind die weitere Verbesserung der passiven Sicherheit der Kraftfahrzeuge und vor allem die Weiterentwicklung der aktiven Sicherheit mit Assistenzsystemen. Durch diese Assistenzsysteme sollen Unfälle vermieden und nicht nur die Folgen von Unfällen gemildert werden. Beispiele sind der Bremsassistent, die automatische Notbremse, der Abbiegeassistent oder die Automatisierung der Abstandshaltung.

Im Luftverkehr liegt die Anzahl der weltweit bei Unfällen getöteten Personen bisher zwischen 600 und 1 900 pro Jahr.

Es muß also das Ziel des Handelns aller Beteiligten sein, diese Unfallzahlen trotz weiter steigenden Verkehrsaufkommens zu verringern. Im Luftverkehr muß zu den Vorkehrungen gegen konventionelle Unfälle verstärkt der Schutz gegen terroristische Übergriffe treten.

### **2.4 Verkehrslärm**

In den letzten Jahren sind durch die Zunahme des Straßenverkehrs die Lärmemissionen durch Kraftfahrzeuge deutlich gestiegen. Nach aktuellen Umfragen fühlen sich rund 20 % der deutschen Bevölkerung durch Straßenverkehrslärm erheblich belästigt.

Bei den Fahrzeuggeräuschen fand in den zurückliegenden Jahren eine starke Verschiebung innerhalb der geräuschrelevanten Komponenten statt. Waren ursprünglich Motoren- und Auspuffgeräusche dominant, so sind es heute in einem Geschwindigkeitsbereich von 50 bis 100 km/h (die Mehrheit der Bevölkerung lebt an Straßen mit diesem Geschwindigkeitsbereich) die Reifen/Fahrbahn-Rollgeräusche.

Da ab 2003 das Reifen-Rollgeräusch Bestandteil der Reifentypprüfung sein wird, ist absehbar, daß ab diesem Zeitpunkt sehr laute Reifen vom Markt verschwinden werden. Mit geräuschoptimierten Reifen läßt sich eine Verringerung des Schalldruckpegels von 2 bis 3 dB im Vergleich zu heutigen Serienreifen erreichen.

Ein weiteres Potenzial verspricht der Einsatz von offenporigen Fahrbahnbelägen in besonders lärmbelasteten Gebieten. Damit lassen sich Schallpegelreduzierungen von 6 dB und mehr erreichen. Allerdings ist dies mit erhöhten Bau- und Unterhaltungskosten verbunden. Erhebliche Immissionsverminderungen lassen sich auch noch durch Schallschutzwände und Schallschutztunnel erreichen, wenn bei bestehenden Anlagen durch Anpassung des Immissionsschutzrechts sowie durch die Bereitstellung von Investitionsmitteln durch die Baulastträger die Voraussetzung zu deren Finanzierung geschaffen werden.

Insgesamt bleibt festzustellen, daß im Bereich der Personenkraftwagen ein wesentliches Lärminderungspotenzial durch technische Weiterentwicklungen am Kraftfahrzeug selbst nicht absehbar ist. Für Lastkraftwagen gibt es noch deutliche Minderungspotenziale.

Im Luftverkehr erhöhte sich mit Einführung der Strahlverkehrsflugzeuge Ende der 50er Jahre die Fluglärmbelastung für Flughafenanwohner massiv. Seinerzeit überwog der Strahlärm im Nachlauf der Schubdüse. Heute überwiegen der Verdichterlärm und der aerodynamische Lärm (Fahrwerk, Klappen, Spoiler). Insgesamt sind in der zurückliegenden Zeit große Fortschritte in der Triebwerkstechnologie bezüglich der Lärminderung gelungen. So hat die Schallenergie pro Flugbewegung drastisch abgenommen. Die Fläche gleicher Lärmbelastung, der sogenannte Footprint, ist bei einem modernen Airbus A319 neunmal kleiner als bei der älteren Boeing B737-200 (bezogen auf 85 dB(A) beim Start). Trotz zunehmender Flugbewegungen hat sich in den letzten 30 Jahren die Fläche der Schutzzonen gemäß Fluglärmgesetz entscheidend verkleinert. Der Fluglärm ist in dieser Zeit um nahezu 20 dB(A) reduziert worden. Durch aktive und passive Maßnahmen wird eine weitere Außenlärmreduktion von 10 - 20 dB angestrebt. Heute sind beispielsweise die berechneten Schutzzonen I (äquivalente Dauerschallpegel größer als 75 dB(A) ) und II (Schutzzone zwischen 67 dB(A) und 75 dB(A) ) am Flughafen Frankfurt infolge der modernen leisen Triebwerke so verkleinert, daß innerhalb dieser Zonen keine Wohnbebauung mehr liegt.

Trotz dieser Fortschritte in Technik und Betrieb ist die Sensibilität der Anwohner gestiegen. Insbesondere dem Schutz der Nachtruhe wird eine besondere Bedeutung beigemessen. Aufgrund dieser Situation bereitet die Bundesrepublik derzeit eine Novellierung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm vor. Geplant ist, spezielle Nachtschutzzonen einzuführen und die bisherigen Grenzwerte im Gesetz weiter abzusenken. Gleichzeitig sollen die Bemühungen in Richtung ICAO<sup>4</sup> (Lärm-

---

<sup>4</sup> International Civil Aviation Organisation

Zulassungsvoraussetzungen für Fluggerät, Annex 16) und EU verstärkt werden, um auch im internationalen Bereich zu einer Harmonisierung der Lärminderungsanforderungen zu kommen. Die Bundesrepublik Deutschland nimmt hier eine Vorreiterrolle ein. Von einer Verschärfung der Fluglärmregelungen werden weitere Anforderungen an die Technologie der Flugzeuge und der Flugverkehrsführung ausgehen.

### **3. Entwicklungen im Straßenverkehr**

#### **3.1 Ausgangssituation und Perspektiven**

Alle Prognosen für den Straßenverkehr gehen von einer weiterhin deutlichen Zunahme aus. Für Deutschland wird von 1997 bis 2015 eine Zunahme im Personenverkehr um rd. 20% und im Güterverkehr sogar um rd. 50% unter Trendbedingungen erwartet. Die Prognosen für die EU gehen für den Zeitraum von 1998 bis 2010 im Personenverkehr von einer Zunahme um rd. 19% und für den Güterverkehr von einer Zunahme um rd. 38% aus. Der deutlich überdurchschnittliche Zuwachs des Güterverkehrs in Deutschland ist eine Folge der zentralen Lage Deutschlands in Europa.

Am bodengebundenen Verkehr hatte der Straßenverkehr im Jahre 1997 einen Anteil von rd. 90% in der Personenverkehrsleistung und von rd. 80% in der Güterverkehrsleistung. Diese Dominanz des Straßenverkehrs wird in Zukunft aufgrund der genannten prognostizierten Steigerung eher noch zunehmen.

Dieses Wachstum führt zu weiter zunehmenden Herausforderungen im Energieverbrauch und bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen. Zur Zeit beträgt z.B. der Energieverbrauch des Straßenverkehrs in Deutschland ca. 28% des Gesamtenergieverbrauchs mit weiterhin steigender Tendenz (mindestens bis zum Jahr 2010).

Um diese Entwicklungstrends mit den Anforderungen an den sparsamen Umgang mit Ressourcen in Einklang zu bringen, ergibt sich unmittelbar die Notwendigkeit von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet des Straßenverkehrs. Sie betrifft insbesondere die Antriebssysteme von Kraftfahrzeugen im Rahmen der Gesamtproblematik „Energie“ und ihrer zukünftigen Nutzung und Verfügbarkeit sowie die Führung der Kraftfahrzeuge im Straßennetz unter Nutzung der sich rasant entwickelnden Möglichkeiten der Kommunikation und der Datenverarbeitung.

#### **3.2 Antriebstechnik**

##### **3.2.1 Kurz- und mittelfristige Lösungen**

Kurz- und mittelfristig bleibt der Verbrennungsmotor die dominierende Antriebsquelle im Kraftfahrzeug. Hauptentwicklungsziele sind die weitere Reduzierung der

Schadstoffemissionen und die Verringerung des Kraftstoffverbrauchs und der damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Technische Ansatzpunkte hierzu sind u.a. variabler Ventiltrieb, direkt einspritzender Ottomotor, Hochaufladung und komplexe Abgasnachbehandlung. Verbrennungsmotoren mit alternativen Kraftstoffen (z.B. Erdgas, Raps-Methyl-Ester, Biogas und Alkohol) sind als Nischenanwendung sinnvoll.

Die großen Hoffnungen, die in Elektro-Fahrzeuge gesetzt wurden, werden sich nicht erfüllen. Sie ermöglichen zwar ein lokal emissionsfreies Fahren, was besonders in Städten und Kurorten von Vorteil ist, und sie erlauben es, Bremsenergie zurückzugewinnen. Die Emissionen entstehen allerdings in den Kraftwerken und durch den Energietransport verringert sich der Wirkungsgrad. Elektrofahrzeuge benötigen als Energiespeicher eine Batterie, die eine geringe Energiedichte aufweist (rd. 1/100 der flüssigen Kraftstoffe). Dadurch haben sie ein hohes Gewicht mit der Folge eines höheren Energieverbrauchs sowie eine geringe Fahrleistung und eine geringe Reichweite. Diese Nachteile sind so gravierend, dass diese Lösung beim heutigen Stand der Technik nur eine Nischenanwendung sein kann z.B. in Kurorten, Hallen und unter Tage.

Bei hybriden Kfz-Antrieben wird versucht, die Vorteile des Verbrennungsmotors und die Vorteile des Elektromotors miteinander zu verbinden und die Nachteile soweit wie möglich zu vermeiden. Bei ihnen handelt es sich um Mischbauformen, die aus einem verbrennungsmotorischen und einem elektrischen Antriebsstrang bestehen. Alle namhaften Hersteller der Welt arbeiten an solchen Konzepten. Die erste Serieneinführung erfolgte 1999 mit dem „Toyota Prius“, die erheblich durch den Hersteller subventioniert wurde. Die hybride Antriebsform ermöglicht wie ein Elektroantrieb ein lokal emissionsfreies Fahren in sensiblen Gebieten und eine Bremsenergie-rückgewinnung durch die Speichermöglichkeit der Batterie. Nachteile des Hybridantriebs sind der zur Zeit noch hohe Preis und die hohe Masse wegen der erforderlichen zwei Speicher und zwei Antriebe im Fahrzeug. Durch Weiterentwicklungen (z.B. Starter-Generator-System mit dem damit verbundenen Wegfall von Anlasser und Lichtmaschine) verbessern sich die Chancen des Hybridantriebs für einen Serieneinsatz.

### **3.2.2 Langfristige Lösungen**

Langfristige Lösungen zielen auf den Zeitraum nach 2015. Ab dann öffnet sich aus heutiger Sicht die Schere zwischen einem kostengünstigen Angebot an flüssigen Kraftstoffen und dem Energiebedarf des Straßenverkehrs. Dem Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis entsprechend kann dies den Einstieg in alternative Energien, zum Beispiel die Wasserstoffwirtschaft bedeuten. Der Wasserstoff wird als Energieträger genutzt und im Kraftfahrzeug mitgeführt. Abgas- und CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen im Kraftfahrzeug nicht, denn der Wasserstoff reagiert ohne Schadstoffentwicklung mit dem Luftsauerstoff zu Wasser. Das Hauptproblem liegt in der

Erzeugung des Wasserstoffes: Wenn die Energie für die Spaltung des Wassers (Elektrolyse) aus fossilen Brennstoffen gewonnen wird, entstehen bei der Elektrizitätserzeugung Schadstoff- und CO<sub>2</sub>-Emissionen am Kraftwerk. Diese Emissionen lassen sich nur vermeiden, wenn zur Gewinnung des Wasserstoffs regenerative Energien oder Kernenergie benutzt werden. Bei der Nutzung regenerativer Energien handelt es sich um einen geschlossenen Kreislauf. Über die Antriebsenergie hinaus ist Energie erforderlich, um den Wasserstoff transportgerecht zu komprimieren. Für die Herstellung und Bereitstellung einer energieäquivalenten Wasserstoffmenge (Elektrolyse + Verflüssigung) ist ca. zehnmals mehr Primärenergie einzusetzen als zur Herstellung und Bereitstellung dieser Energiemenge in Form von Benzin. Weitere Probleme sind die Betankung der Fahrzeuge (hierzu ist ein vollständig neues Tankstellennetz erforderlich) sowie die Mitführung des Wasserstoffes im Fahrzeug, speziell unter den Gesichtspunkten der Sicherheit.

Die Energiemenge, die erforderlich wird, wenn die Mehrzahl der Kraftfahrzeuge den Wasserstoff als Energieträger nutzen soll, kann derzeit nicht regenerativ gewonnen werden. Erzeugt man die Energie aus dem derzeitigen Strommix in Deutschland, so ist für das mit Wasserstoff und Brennstoffzelle betriebene Kraftfahrzeug kein CO<sub>2</sub>-Minderungseffekt mehr darstellbar. Von den regenerativen Energien wird die Solarenergie als die aussichtsreichste Form angesehen. Probleme hierbei sind allerdings die benötigten Solarflächen und der Transport. Aufgrund der Sonneneinstrahlung verhalten sich die für die Erzeugung gleicher Energiemenge benötigten Flächen in Deutschland bzw. der Sahara wie 7:3. Der Einsatz von Biomasse zur Energieerzeugung ist begrenzt durch die zur Verfügung stehenden Ressourcen.

Bei der Antriebstechnik werden auf der Basis von Wasserstoff zwei Wege verfolgt: Die Erzeugung der Antriebsenergie über eine Brennstoffzelle und die Verbrennung des Wasserstoffs in einem Verbrennungsmotor. Die gegenwärtig favorisierte Lösung für den mobilen Einsatz des Wasserstoffs ist die Brennstoffzelle. An der Brennstoffzellentechnik arbeiten derzeit fast alle führenden Automobilhersteller mit hohem finanziellen Aufwand. Führend scheint z.Z. das Konsortium Daimler-Chrysler – Ford – Ballard zu sein. Die Entwicklung hat einen Stand erreicht, den man als marktnah, keinesfalls aber als marktreif bezeichnen kann. Dokumentiert ist dieser Stand z.B. in den Fahrzeugen Necar 5 (Daimler-Chrysler A-Klasse) und im Omnibus CITARO (EVOBUS). Daimler-Chrysler plant die Serienproduktion des ersten Kraftfahrzeuges mit Brennstoffzellenantrieb für das Jahr 2004. Die Nutzung eines Verbrennungsmotors mit Wasserstoff-Betrieb wird vom Automobilhersteller BMW verfolgt.

Welches der beiden Systeme mit Wasserstoff als Energieträger sich durchsetzen wird, ist noch nicht abzusehen, da beide noch in der Entwicklungsphase sind. Die Brennstoffzelle hat gegenüber dem Verbrennungsmotor einen höheren Wirkungsgrad, besonders im Teillastbereich. Der Antriebsstrang derartiger Fahrzeuge ist geräuscharm. Nachteile sind die zur Zeit noch überaus hohen Kosten und die große Masse des Antriebsaggregats sowie der Verbrauch des Edelmetalls Platin als

Katalysator. Vorteil der Verwendung des Wasserstoffs im Verbrennungsmotor ist, dass der gesamte Antriebsstrang mit erprobter Technik erhalten bleiben kann.

Um die Probleme der Wasserstofferzeugung, der Betankung der Fahrzeuge mit Wasserstoff und der Mitführung des Wasserstoffs im Fahrzeug zu vermeiden, wird auch versucht, den Wasserstoff an Bord aus mitgeführtem Methanol zu erzeugen. Diese Technik ist ebenfalls in Erprobung (Daimler-Chrysler: Necar5). Bei dieser Lösung wird die mitführbare Energiemenge größer. Der gerätetechnische Aufwand im Fahrzeug durch den für die Umwandlung von Methanol in Wasserstoff erforderlichen Reformer steigt jedoch an. Auch fällt die Schadstoff- und CO<sub>2</sub>-Bilanz ungünstiger aus als bei der Betankung mit Wasserstoff. Sie ist aber immer noch wesentlich günstiger als beim Otto- oder Dieselmotor. Das vorhandene Tankstellennetz kann weitgehend genutzt werden.

Für die langfristige Verwendung von Wasserstoff als Energieträger mobiler Antriebe sind grundlegende Änderungen der gesamten Infrastruktur für Herstellung, Lagerung, Transport und Vertrieb von Wasserstoff notwendig. Nach Expertenmeinung beträgt der finanzielle Aufwand für ein Wasserstoff-Tankstellennetz ca. 5 bis 7 Milliarden Euro. Die Frage der günstigsten Variante der Wasserstoffherstellung, d.h. entweder zentral oder an den Tankstellen oder im Kraftfahrzeug, ist z.Zt. Gegenstand der Forschung und kann noch nicht beantwortet werden.

Für die Reichweiten der Kraftfahrzeuge können aus heutiger Sicht folgende Aussagen getroffen werden: Wird Wasserstoff in gasförmiger Form an Bord mitgeführt, d.h. in Druckbehältern mit ca. 250 bis 350 bar, verringert sich die Reichweite gegenüber einem mit Benzin bzw. Diesel betriebenen Kraftfahrzeug auf etwa 50%.

Wird Wasserstoff in flüssiger Form mitgeführt, d.h. bei -253°, so ist ein Kryotank notwendig, was komplexere und damit teurere Technik bedeutet. Die Reichweite derartiger Kraftfahrzeuge ist mit denen, die mit Benzin bzw. Dieselmotoren betrieben werden, vergleichbar.

Bei Verwendung von Methanol gelten im wesentlichen die gleichen Sicherheitsbestimmungen wie beim Umgang mit den brennbaren Flüssigkeiten Benzin oder Dieselmotoren. Diesbezügliche Aufwendungen für die Anpassung bestehender technischer Einrichtungen sind vergleichsweise gering. Anders ist dies bei der Verwendung von gasförmigen Energieträgern für mobile Antriebe. Aufgrund der Reichweitenproblematik sind gasförmige Energieträger, wie Methan oder Wasserstoff, nur in hochverdichteter oder verflüssigter Form als Energieträger im Fahrzeug geeignet. Diese Art der Speicherung bedarf erheblich größerer technischer Aufwendungen, wenn das gleiche Maß an Sicherheit erreicht werden soll wie bei konventionellen Kraftfahrzeugen. Nach Angaben der Kraftfahrzeughersteller ist diese Technik jedoch unter Sicherheitsgesichtspunkten vertretbar. Demnach ist davon auszugehen, daß die Sicherheit aus technischer Sicht für die gesamte Systemkette

auf einem Niveau lösbar wird, das der heutigen Lage bei konventionellen Kraftfahrzeugen entspricht.

### 3.2.3 Ergänzende technische Maßnahmen

Neben den Lösungen am Antriebsstrang, die die Hauptstoßrichtung darstellen, gibt es eine Reihe anderer Maßnahmen, die der Senkung des Kraftstoffverbrauches und damit der Ressourcenschonung und der CO<sub>2</sub>-Minderung dienen. Dies sind u.a. die Massereduzierung (z.B. neue Werkstoffe; Verbundwerkstoffe; tailored blanks<sup>5</sup>), die Reduzierung des Luftwiderstandes der Kraftfahrzeuge und des Rollwiderstandes der Reifen sowie die Verbesserung der Kraftstoffe. An diesen Entwicklungen wird in der Automobil-, Zuliefer- und Mineralölindustrie mit Erfolg gearbeitet.

### 3.3 Steuerung des Verkehrsablaufs

Der ständig wachsende Straßenverkehr führt auf hochbelasteten Straßen zu zunehmenden Gefährdungen und Engpassituationen. Diese Entwicklung beeinträchtigt die Sicherheit des Verkehrs, bewirkt Zeitverluste und führt zu zusätzlichen Umweltbelastungen. Um solche Negativwirkungen möglichst gering zu halten, ist eine Steuerung des Verkehrsablaufs erforderlich. Neue Möglichkeiten der Steuerung ergeben sich durch die fortschreitende Entwicklung in der Kommunikationstechnik zusammen mit der Datenverarbeitung (=Telematik).

Ansatzpunkte für die Steuerung des Verkehrsablaufs sind die Beeinflussung des Fahrtablaufs und die Beeinflussung des Reiseablaufs im Netz.

- Maßnahmen für die Beeinflussung des Fahrtablaufs sind die Warnung vor gefährlichen Straßen- und Verkehrszuständen wie Nebel, Glätte und Stau sowie die Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und das Überholverbot bei hoher Verkehrsbelastung. Sie dienen nicht nur der Sicherheit, sondern sie tragen durch eine Homogenisierung des Verkehrsflusses auch dazu bei, dass eine hohe Leistung der Straßen erreicht, Zeitverluste der Verkehrsteilnehmer vermieden und die Umweltbelastung durch Lärm und Abgase begrenzt werden. Hinzu kommen Maßnahmen der Signalsteuerung an Knotenpunkten, wie die Signalkoordinierung (z.B. in „Grünen Wellen“), die Zuflussdosierung auf hochbelasteten Straßen und der Richtungswechselbetrieb auf Straßen mit stark wechselnden Lastrichtungen, die unmittelbar der Erhöhung der Leistungsfähigkeit und der Vermeidung von Zeitverlusten dienen.
- Die Beeinflussung des Reiseablaufs im Netz dient dazu, Überlastungen zu vermeiden und überlastete Streckenabschnitte zu umfahren. Ein Instrument

---

<sup>5</sup> beanspruchungsrecht "geschneiderte" Bleche

hierfür ist die Information vor Reiseantritt über den Straßen- und den Verkehrszustand, die heute schon über den Rundfunk und über Internet verbreitet wird und auch über Mobiltelefone abgerufen werden kann. Diese Informationen lassen sich teilweise mit Empfehlungen über die am besten zu fahrende Route und den günstigsten Reisezeitpunkt verbinden. Navigationssysteme im Fahrzeug, die heute noch primär der Routensuche zu einem bestimmten Fahrziel dienen, werden zunehmend auch mit Informationen über den Verkehrszustand verbunden.

Alle genannten Systeme sind teilweise schon in Betrieb, bedürfen aber noch der Stabilisierung und Weiterentwicklung. Noch nicht zufriedenstellend gelöst sind die zuverlässige Erfassung des Verkehrszustandes, die Kurzfristprognose der Verkehrslage sowie die Kenntnis der Akzeptanz der Systeme durch den Verkehrsteilnehmer. Während die Erhöhung der Sicherheit durch die Beeinflussung der Fahrzeugbewegung auf dem Fahrweg bereits nachgewiesen ist, steht ein eindeutiger Nachweis bei der Erhöhung der möglichen Verkehrsstärke noch aus. Auf hochbelasteten Straßen dürfte eine Erhöhung der möglichen Verkehrsstärke in einer Größenordnung von bis zu 10 % realistisch sein. Wichtiger ist aber die Vermeidung der Stauhäufigkeit durch die Homogenisierung des Verkehrsflusses. Die hieraus erwachsenden Leistungssteigerungen lassen sich pauschal bisher nur schwer abschätzen, und sie hängen stark von den jeweiligen verkehrlichen Randbedingungen ab.

## 4. Entwicklungen in der Luftfahrt

### 4.1 Ausgangssituation und Perspektiven

Bis zum Terroranschlag am 11. September 2001 waren die Prognosen für die Entwicklung des Luftverkehrs weltweit durch überdurchschnittliches Wachstum gekennzeichnet. Dies galt für den Passagier- (+5 % pro Jahr) und Frachtverkehr (+7 % pro Jahr) ebenso wie für die Zahl der Flugbewegungen (+3 bis 4 % pro Jahr). Derzeit herrscht Unsicherheit bei der Beurteilung der künftigen Entwicklung. Sie hängt nach Meinung der Experten von Luftverkehrsgesellschaften und Luftfahrtindustrie vor allem von der weiteren Entwicklung der Bedrohungslage durch terroristische Aktivitäten ab. Im besten Fall könnte eine Normalisierung bei den Luftverkehrsgesellschaften in einigen Monaten eintreten. Dieser Zeitraum kann sich je nach weltpolitischer Situation aber auch merklich verlängern bis hin zu der Möglichkeit, dass nach einer Normalisierung der politischen Gegebenheiten die Entwicklung auf niedrigerem Niveau verharrt und von dort aus ein moderates Wachstum einsetzt. Die Luftfahrtindustrie (Airbus) geht davon aus, dass auch bei einer kurzfristigen Normalisierung erst in zwei Jahren der für 2002 erwartete Produktionsstand erreicht werden wird.

Unabhängig von den genannten Unwägbarkeiten wird im Folgenden von einer, wie ursprünglich vorgesehen, weiterhin normalen Entwicklung ausgegangen.

Der Luftverkehr war von einigen temporären Einschnitten abgesehen (zuletzt Golfkrieg und Weltwirtschaftskrise) ein sich stets dynamisch entwickelnder Verkehrsträger. Dies wird u.a. gestützt durch die Trendprognose (bis 2015) der Arbeitsgemeinschaft Deutsche Flugsicherung (DFS)/ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) von Ende 1997. Für den Zeitraum bis 2020 liegen Prognosen internationaler Luftverkehrsorganisationen und Flugzeughersteller vor. Auf den deutschen Verkehrsflughäfen wird sich die Zahl der Flugpassagiere (an und ab) von ca. 142 Mio. im Jahr 2000 auf 230 Mio. im Jahr 2010 und 380 Mio. im Jahr 2020 erhöhen. Bei der Luftfracht wird sich das Aufkommen bezogen auf 1995 bis 2010 verdoppeln und bis 2020 fast vervierfachen. Die Zahl der gewerblichen Flugbewegungen wird sich in Deutschland von 1,9 Mio. im Jahr 2000 auf ca. 3,9 Mio. im Jahr 2020 verdoppeln und zu diesem Zeitpunkt wird fast jeder zweite Start das Ziel im Ausland haben. Der Treibstoffverbrauch wird 2020 trotz der weiteren Reduzierung des spezifischen Verbrauchs der Triebwerke mehr als doppelt so hoch sein wie 1995. Bis 2010 werden etwa zwei Drittel mehr verbraucht.

Vor dem Hintergrund der aufgezeigten Entwicklungsperspektiven und des erheblichen ökonomischen Stellenwertes des Luftverkehrs (strategische Bedeutung für die gesamte Wirtschaft, Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit einer

globalisierten Wirtschaft) sind die Aspekte der ökologischen Belastung (Lärm, Emissionen, Klimaveränderung) einer besonderen Wertung zu unterziehen. Bei der Abwägung der unterschiedlichen Bedürfnisse (Kunden, Flughafenanwohner, Bevölkerung) ist immer zu berücksichtigen, dass der Luftverkehr ein höchst sensibler Verkehrsträger ist und, wie die Gegenwart zeigt, auf globale und regionale Ereignisse unmittelbar reagiert. So haben allein in den Jahren des Golfkrieges und der gleichzeitig auftretenden Weltwirtschaftsrezession (1990 bis 1993) die Luftverkehrsgesellschaften alle Gewinne, die sie seit Gründung in den Zwanziger Jahren bis 1990 summiert erzielt hatten, in den drei Krisenjahren wieder verloren.

Es ist verständlich, dass die Interessenlagen von Politik und Luftverkehrsindustrie in einigen Bereichen durchaus kontrovers (Kerosinsteuer, Fluglärngesetzgebung) und in anderen übereinstimmend (Sicherung der Arbeitsplätze, Reduzierung der Emissionen, höhere Flugsicherheit) ist.

#### **4.2 Antriebstechnik**

Die künftige Triebwerksentwicklung ist weiterhin dadurch bestimmt, die Umweltbelastung (Schadstoffe, Lärm) zu reduzieren und die Wirtschaftlichkeit zu erhöhen. Dies setzt Fortschritte bei allen Komponenten eines Flugtriebwerks (Fan, Verdichter, Brennkammer, Turbine) voraus.

Der Fan (Bläser) eines Triebwerks der nächsten Generation wird einen größeren Durchmesser als bisher haben und über ein Untersetzungs-Getriebe mit der Niederdruckturbine verbunden sein. Das Kerntriebwerk wird bei hohen Druck- und Temperaturverhältnissen arbeiten und mit einer schadstoffarmen Brennkammer ausgerüstet sein. Ziel ist es, eine lange Lebensdauer, geringes Gewicht, geringere Baulängen und niedrigere Herstellungs- und Wartungskosten zu erreichen. Die Betriebskosten sollen um 3% gesenkt und die Lebensdauer-Vorhersage von wichtigen Triebwerkkomponenten genauer werden. Der Brennstoffverbrauch soll um 20% gesenkt, die Lärmemission um 10dB, der CO<sub>2</sub>-Ausstoß um 20% und die NO<sub>x</sub>-Emission um 80% verringert werden. Die Reduzierung der Stickoxide ist durch gestufte Brennkammer-Konzepte zu erreichen.

#### **4.3 Neue Werkstoffe**

Werkstoffseitig sollen diese Ziele durch extrem leichte und dennoch hoch belastbare Bauteile erreicht werden.

Ziel der europäischen Luftfahrtindustrie muss es sein, die Herstellungskosten zu reduzieren. Dies wäre u.a. möglich, wenn die bisherige Metallrumpf-Bauweise zu einem großen Teil durch neue Techniken auf Basis der faserverstärkten Verbundwerkstoffe ersetzt wird. Dadurch können die Herstellungskosten bis 2010 um

40% verringert werden. Mit dem Projekt "Schwarzer Rumpf" (Kohlenstofffaser-Verbundwerkstoff -Bauweise (CFK)) soll dieses Ziel erreicht werden.

Geht man davon aus, dass bis 2020 etwa 20.000 Flugzeuge infolge Flottenersatz und -erweiterung benötigt werden (Volumen 1,2 Billionen \$), bedeutet dies für die deutsche Industrie einen beachtlichen Anteil an diesem Umsatzvolumen.

Ein Rumpf von der Größe eines Airbus A320 kann in Faserverbundbauweise um 30% leichter sein als eine entsprechende Aluminiumstruktur. Dies erbringt über ein Flugzeugleben eine Treibstoffersparnis von 24 Mio. Litern Kerosin. Gleichzeitig soll CFK die Lebensdauer der Flugzeuge verlängern, den Wartungsaufwand verringern und die Crash- und Durchbrandsicherheit steigern. Zur Realisierung eines solchen "schwarzen Rumpfes" sind neue Strukturkonzepte und stark beschleunigte Entwurfsprozesse notwendig. Bei der Entwicklung des CFK-Rumpfes werden Entwurf, Konstruktion, Berechnung, Werkstoffe und Fertigungstechnologien gleichzeitig bearbeitet (Concurrent / Integrated Engineering). Ziel ist es, längerfristig die Entwicklungskosten für Flugzeuge um 50% und die direkten Betriebskosten für Flugzeuge ebenfalls um bis zu 50% zu senken.

#### 4.4 Aerodynamik

In der Aerodynamik spielt die Laminarhaltung der Grenzschicht eine wichtige Rolle. Gelingt dies, wird der Widerstand des Flugzeuges reduziert und in Folge davon der Kraftstoffverbrauch des Flugzeuges gesenkt. Obwohl das theoretische Potential dieser Technologie lange bekannt ist, erfordert die praktische Umsetzung intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeit. Zum Erhalt einer laminaren Grenzschicht ist eine entsprechende Formgebung des Bauteils und die Absaugung aus der Grenzschicht erforderlich. Durch Laminarhaltung kann der Widerstand lokal um 50%, bezogen auf das Gesamtflugzeug, um bis zu 16% reduziert werden. Bedenkt man, dass 1% Widerstandsreduktion bei einem Langstreckenflugzeug Airbus A340 eine jährliche Kraftstoffeinsparung von rund 400.000 Litern bedeutet, wird deutlich, welche Kostenersparnis für eine Flugzeugflotte erreicht werden kann und welche günstigen Auswirkungen dies auf die Umweltbelastung hat.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Aerodynamik eines Flügels dadurch zu optimieren, dass im Reiseflug die Tragflächenwölbung verändert werden kann und dadurch die Flugzeuge noch wirtschaftlicher operieren können (Adaptiver Flügel).

Durch Anpassung der Flügelgeometrie an die jeweiligen Flugbedingungen (Gewicht, Höhe, Geschwindigkeit) kann der reibungs- bzw. auftriebsabhängige Widerstand weiter verringert werden und die Einsatzflexibilität des Flugzeuges wird größer. Ein solcher adaptiver Flügel eröffnet auch die Möglichkeit einer besseren Anpassung an die Erfordernisse einer Weiterentwicklung des Flugzeugtyps. Man geht davon aus,

dass in den nächsten 20 Jahren Kraftstoffeinsparungen von bis zu 36% durch verbesserte Aerodynamik möglich sind.

DASA hat ermittelt, dass bei einem 540 t schweren A380 durch Verwendung variabler Klappenhinterkanten eine Reduzierung des Widerstands um 3,5%, die des Strukturgewichts um 3,5 Tonnen und daraus folgend eine Kraftstoffersparnis von 5,9% möglich ist. Das maximale Startgewicht würde sich dann bei gleicher Nutzlast um 19 Tonnen verringern.

#### **4.5 Flugführung**

Der ständig wachsende Luftverkehr führt zu Engpasssituationen in hochbelasteten Lufträumen und an Flughäfen. Es ist erforderlich, durch neue Flugführungstechnologien (verbesserte Technik, verbesserte Verfahren) die bord- und bodenseitige Kompetenz zu erhöhen.

Die bis zum Jahre 2015 erwartete Verdopplung des Luftverkehrs stellt in Europa besonders an die Verkehrsflughäfen und die sie umgebenden Lufträume hohe Anforderungen bezüglich der bord- und bodenseitigen Ausrüstung. Obwohl einige Teilbereiche des Luftverkehrssystems bereits heute an ihrer Kapazitätsgrenze arbeiten (Flugsicherungssektoren, Flughäfen), muss die erwartete Verdoppelung des Verkehrs durch die verfügbare Infrastruktur aufgenommen werden können. Dabei müssen die Sicherheits-, Wirtschaftlichkeits- und Umweltstandards mindestens gehalten, wenn möglich noch verbessert werden. Können Kapazitätsverbesserungen nicht im erforderlichen Maß erreicht werden, entstehen durch zunehmende Verspätungen und Umwege hohe volkswirtschaftliche Schäden. Diese Schäden betragen ein Vielfaches der Kosten, die durch die Verbesserungsmaßnahmen verursacht werden.

Die zur Zeit laufende Entwicklung eines kooperativen Air Traffic Management (ATM) Systems, bei dem Flugzeugbordsysteme mit bodenseitigen Planungsrechnern über eine automatische Datenverbindung kooperieren, erfolgt mit dem Ziel, eine sichere und wirtschaftliche Durchführung des gesamten Fluges (Gate-to-Gate) bei größtmöglicher bordseitiger Freiheit in der Wahl des Flugweges (Free Flight) zu erreichen. Hierzu ist bordseitig der Einsatz neuer leistungsfähiger Anzeige-, Bedien- und Pilotenunterstützungssysteme notwendig. Bodenseitig werden die Kontrollanweisungen der Flugsicherung durch ein kooperatives ATM ersetzt.

Die automatische Erfassung der inneren Situation, d.h. des Zustandes der bordseitigen Systeme, der Arbeitssituation der Cockpitbesatzung, und der äußeren Situation des Fluges, d.h. des umgebenden Verkehrs, des Geländes und des Wetters sowie eine entsprechende Aufbereitung, Verarbeitung und Darstellung dieser Informationen bilden eine wesentliche Voraussetzung für die Erhöhung der Flughafen- und Luftraumkapazität.

Verspätungen, verlängerte Flugstrecken, Warteschleifen und verlängerte Bodenrollzeiten sind mit dem gegenwärtigen bodengestützten ATM (Air Traffic Management System) nicht mehr signifikant zu reduzieren. Erst wenn es gelingt, die Flugzeugbesatzungen (über neue Technologien im Cockpit) weitergehend in den ATM - Prozess zu integrieren und ihre Entscheidungskompetenz in der Flugführung zu erhöhen, wird eine nachhaltige Besserung der Situation eintreten.

Im Ergebnis sind für die Flugführung folgende Forderungen zu erheben:

- Optimierung der Infrastruktur der Flugsicherung,
- Erhaltung und Verbesserung des Sicherheitsniveaus bei wachsender Verkehrsdichte
- operationelle Verbesserung durch den Einsatz von Satelliten (Galileo) unter Einschluss digitaler Datenverbindungen und weitergehender Automatisierung der Flugführung und Flugsicherung
- Verbesserung der bordseitigen Flugzeugausrüstung durch neue Cockpit-Technologien zur Situationserkennung und durch wissensbasierte Pilotenunterstützungssysteme
- Optimale Arbeitseinbindung der menschlichen Operateure in das Luftverkehrssystem
- rechnergestützte Systeme für die taktische Flugsicherungs-Infrastruktur
- Entwicklung von Systemkonzepten zur Führung der Luftfahrzeuge am Boden (Rollverkehrsführung).

## **5. Rolle der staatlichen Technologieförderung im Verkehr**

### **5.1 Staatliche Technologieförderung in der Marktwirtschaft**

Die Analyse der Technologiepotentiale – exemplarisch in den Bereichen neue Fahrzeugantriebe und Luftverkehr – hat gezeigt, daß von neuen Verkehrstechnologien wichtige Beiträge zur Verbesserung der Energie- und Umweltverhältnisse erwartet werden können, z.B. Energieeinsparung, CO<sub>2</sub>-Reduktion, Lärmbekämpfung, Verkehrssicherheit, Störungsfreiheit der Verkehrsabläufe. Auf wettbewerblich organisierten Verkehrsmärkten sind Entwicklung und Durchsetzung neuer Technologien Aufgaben der industriellen Hersteller. Sie stehen mit besseren Produkten und Verfahren im Wettbewerb um die Kunden. Der Wettbewerb ist Anreiz zur Innovation und Diffusion der neuen Technologien. Umstritten ist die Frage, inwieweit die Technikentwicklungen von der Politik begleitet und gefördert werden sollten.

Für ein staatliches Engagement in der Technologieförderung sprechen sowohl grundsätzliche als auch praktische Gründe:

- Auch in einer grundsätzlich wettbewerblich organisierten Wirtschaft kann wirtschaftspolitischer Handlungsbedarf entstehen. So kann etwa Marktversagen bei der Bereitstellung öffentlicher Güter die Notwendigkeit eines staatlichen Eingreifens rechtfertigen. Im vorliegenden Kontext der Technologieforschung stellt die Grundlagenforschung eine primäre Aufgabe öffentlicher Forschungseinrichtungen dar. Nur so werden fehlende private Anreize für Forschungs- und Entwicklungsausgaben für nicht marktfähige Entwicklungen überwunden.
- Als treibende Kraft des wirtschaftlichen Wachstums gilt die Akkumulation des technischen Wissens mit positiven externen Effekten. Neues technisches Wissen führt zu Innovationspotentialen, die in der Wirtschaft auf breiter Ebene genutzt werden können, wenn der Zugang zu diesem Wissen offen und unbeschränkt ist. Die Privatwirtschaft steht bei der Erforschung neuer Großtechnologien gelegentlich vor dem Hemmnis hoher Risiken aus den sehr langfristigen Kapitalbindungen. Diese Barriere kann insbesondere durch langfristige, verlässliche Rahmenbedingungen (im Bereich von Standards, Steuern und Abgaben etc.) herabgesetzt werden.
- Manche Technologien setzen die Schaffung flächendeckender neuer Infrastrukturen voraus. Dies gilt zum Beispiel für die Wasserstofftechnologie. Der Aufbau solcher Infrastrukturen ist notgedrungen mit dem Problem der Überwindung der kritischen Masse verbunden, da nur bei einem hinreichend dichten Netz diese Technologien durchsetzungsfähig sind. Solche Infrastrukturen haben den Charakter natürlicher Monopole, so dass der Staat gefordert ist, durch geeignete Rahmenbedingungen die Bereitstellung dieser Infrastrukturen zu sichern.
- Das Engagement der Wirtschaft bedingt im Falle von vernetzten Technologien, zum Beispiel in der Informations- und Kommunikationstechnik, die Festlegung von Standards. Daneben werden wie etwa im Falle satellitengestützter Kommunikation durch das europäische Galileo-System staatliche Basisleistungen (etwa das Satellitennetz sowie die zentralen Bodenstationen) erwartet.
- Mehr praktischer Art sind Förderanlässe, um Marktschwächen in der Durchsetzung innovativer Technologien auf breiter Ebene zu überwinden, u.a. Informationsdefizite der Verkehrsteilnehmer, eingeschränkte Flexibilität aufgrund von Gewohnheiten, Akzeptanzbarrieren infolge noch zu hoher Kosten der neuen Technologien, ausbleibende Marktsignale für langfristige Knappheiten.

- In vielen Ländern werden technologische Schlüsselbereiche staatlich gefördert, auch wenn dies nicht dem Ideal eines offenen internationalen Wettbewerbs entspricht. Ein Beispiel hierfür ist die Luftfahrtindustrie. Eine staatliche Technologieförderung läßt sich in solchen Fällen mit dem Argument der Sicherung von inländischen Standorten der Hochtechnologie rechtfertigen.

Auf der anderen Seite zeigt die kritische Auseinandersetzung mit industriepolitischen Konzeptionen, daß Grenzen der staatlichen Technologieförderung zu beachten sind. Diese ergeben sich aus folgenden Überlegungen:

- Der Staat könnte aufgrund seiner Förderung die Richtung der Industrieforschung beeinflussen. Dieses Risiko besteht vor allem dann, wenn Forschung und Entwicklung (F&E) divisional (über bestimmte Produkte) und nicht funktional gefördert wird.
- Technologie-Förderprogramme können Mitnahme-Effekte auslösen. Als Beispiel dient die Förderung der Entwicklung bestimmter Kfz-Komponenten in den EU-Förderprogrammen PROMETHEUS und DRIVE, die auch ohne solche Förderung entwickelt worden wären.
- Technologie-Förderung kann Wettbewerbsverzerrungen auslösen. Kleine und mittlere Unternehmen haben Probleme, Zugang zur Förderung zu finden. Dies gilt vor allem vor dem Hintergrund, dass die öffentlichen Förderstellen dazu neigen, Partnerschaften von Großindustrie und öffentlichen Großforschungseinrichtungen („centres of excellence“) mit den hochdotierten Langfristprogrammen zu versehen.<sup>6</sup>
- Wird massiv und langfristig in eine Technologierichtung gefördert, so entstehen Risiken aus einseitiger Strukturlenkung und entsprechenden Fehlschlägen (Beispiel: Schnelle Brüter-Technologie).

## 5.2 Strategisches Konzept für die Förderung neuer Verkehrstechnologien

Beim Aufbau eines strategischen Konzeptes für die Förderung neuer Verkehrstechnologien sind folgende Fragen zu klären:

- (1) Was schafft die Wirtschaft in Privatinitiative ohne den Staat?
- (2) Was kann nur der Staat, weil die Wirtschaft überfordert wäre?

---

<sup>6</sup> Der Beirat hat sich in seiner Stellungnahme „Forschung auf dem Gebiet des Verkehrswesens“ vom 20.12. 2001 zur Forschungspolitik des Bundes mit der Effizienz und Innovationskraft der Großforschung kritisch auseinandergesetzt.

- (3) Was kann mit Hilfe einer Koordination von staatlichen und privaten Initiativen erreicht werden und wie lassen sich dabei die verzerrenden Nebenwirkungen der staatlichen Initiativen minimieren?

### **5.2.1 Initiativen der privaten Wirtschaft**

Von der Wirtschaft sind alle Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zu erwarten, die zu einer Verbesserung der Marktfähigkeit ihrer Produkte führen. Die zukünftigen Herausforderungen für die Verkehrstechnologien sind im Grundsatz von der Wirtschaft erkannt und in produktbezogene Entwicklungsforschung umgesetzt worden. Hier bedarf es keiner staatlichen Unterstützung. Eine Subventionierung der Entwicklung von wasserstoffgetriebenen Motoren oder Brennstoffzellen mit oder ohne Reformier ist somit nicht erforderlich. Gleiches gilt für die Entwicklung produktbezogener neuer Werkstoffe und Fahrzeugkomponenten.

Auch die Technologieentwicklungen bei Luftfahrtprodukten sind durch Industrieforschung voranzubringen, ohne dass der Staat bestimmte Linien fördern müsste. Es ist zu erwarten, dass jede neue Produktgeneration, also zum Beispiel der A 380 von Airbus Industries, den aktuellen Stand des Wissens im Bereich der Energieeinsparung und der Umweltschonung enthält.

Entscheidend für die Industrie ist die langfristige Verlässlichkeit der staatlich gesetzten Rahmenbedingungen. Dies bezieht sich auf Steuern und Subventionen sowie Regulierungen, Standards und Auflagen. Auch kann es zielführend sein, eine Glättung der Preisschwankungen auf den Energiemärkten mit Hilfe der Steuerpolitik herbeizuführen, um die Erwartungen in Richtung auf langfristige Steigerungen der Preise für fossile Energien zu verstetigen. Sobald die Preissignale in die richtige Richtung wirken, kann die Forschung und Entwicklung von energiesparenden Antriebssystemen ganz überwiegend von der Privatwirtschaft geleistet werden.

### **5.2.2 Aufgaben der öffentlichen Technologieforschung im Verkehr**

Die Grundlagenforschung ist primär Aufgabe der öffentlichen Forschungseinrichtungen. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass die Forschungsergebnisse öffentlich sind und von allen Marktteilnehmern abgerufen werden können. Dies kennzeichnet die Externalität der Grundlagenforschung und die freie Diffundierung der damit bewirkten Innovationseffekte.

Naturgemäß gibt es vielfältige Schnittstellen zwischen der Grundlagenforschung und der produktbezogenen Entwicklung. Beispiele sind neue Werkstoffe oder neue Steuerungstechniken. Entscheidend ist hier, dass das Forschungswissen aus der öffentlichen Forschung allen gleichermaßen zugänglich gemacht wird, wobei marktfähiges Wissen – etwa mittels Ausschreibungsverfahren – symmetrisch

zugeordnet und die Wettbewerbslage auf dem Verkehrsmarkt nicht durch einseitige Wissensverteilung verzerrt wird.

Ein wichtiges Feld für die öffentliche Technologieforschung besteht in dem gedanklichen Entwurf der erforderlichen Infrastrukturen, die fahrzeugbezogene Entwicklungen erst umsetzbar machen. So ist in Bezug auf die Wasserstofftechnologie das Hauptproblem aus heutiger Sicht nicht die Herstellung leistungsfähiger Brennstoffzellen, sondern die Bereitstellung eines flächendeckenden Systems zur Erzeugung und Verteilung des Energieträgers Wasserstoff.

### **5.2.3 Koordination staatlicher und privater Initiativen**

Die Diskussion „reiner“ privatwirtschaftlicher oder öffentlicher Aufgaben bei der Forschung und Entwicklung für Verkehrstechnologien hat gezeigt, dass bei den privatwirtschaftlichen Aktivitäten die öffentlichen Entscheidungen als Randbedingungen eingehen und dass umgekehrt die öffentliche Forschung an Verkehrstechnologien nicht ohne den konkreten Hintergrund der privatwirtschaftlichen Bedarfe stattfinden kann. Insofern ist offensichtlich, dass beide Forschungsbereiche in starker Abhängigkeit stehen und mit Hilfe koordinierter Strategien weiterzuentwickeln sind. Dies bezieht sich auf die folgenden Bereiche:

#### **Forschung und Entwicklung**

Forschung und Entwicklung im Bereich neuer Verkehrstechnologien sollten vom Staat weiter gefördert werden. Dies betrifft die Grundlagenforschung, aber auch die anwendungsbezogene Forschung. Bei der industriellen Forschung steht die indirekte Förderung im Vordergrund. Diese überläßt den konkreten technologischen Weg zur Zielerreichung den Unternehmen. Die indirekte Förderung gewährleistet, daß der Ideen- und Konzeptwettbewerb offen gehalten und dadurch eine hohe Forschungs- und Entwicklungseffizienz erreicht wird.

Kritisch ist dagegen eine spezifische Projektförderung oder eine unmittelbare Produktforschung oder gar -entwicklung zu sehen. Dies muß Aufgabe der Industrieunternehmen mit eigener finanzieller Verantwortung bleiben. Öffentliche Hilfen wären gerade in der Projektförderung mit erheblichen Problemen verbunden, z.B. unlösbare Informations- und Prognoseschwierigkeiten des Staates, Diskriminierung nicht geförderter Unternehmen, Tendenzen zur Konzentration oder Haftungsfragen bei Fehlschlägen. Vor diesem Hintergrund ist z.B. das Engagement des Bundes für die Erforschung der Magnetschnellbahn-Technologie bis hin zur Finanzierung der Versuchsanlage vertretbar. Die darüberhinausgehende industriepolitische Förderung durch Finanzierung von zwei Großprojekten über die sonst üblichen Baukostenzuschüsse hinaus erscheint dagegen aus Sicht der Forschungsförderung als problematisch.

### **Schaffung von Märkten**

Finanzhilfen können für Demonstrations- und Pilotprojekte gegeben werden, welche Chancen, Risiken und staatliche Handlungsnotwendigkeiten aufzeigen. Zur Erhöhung der Anreizwirkung kann die Gewährung von Fördermitteln an bestimmte Umweltaforderungen gebunden werden. So könnte z.B. die Investitionsförderung im ÖPNV davon abhängig sein, dass energiesparende und schadstoffreduzierte Fahrzeuge im Straßen- und Schienenverkehr angeschafft werden. Auch das Beschaffungswesen der öffentlichen Hand läßt sich - unter Beachtung von Finanzierungsmöglichkeiten - durchsetzungsfördernd einsetzen, indem z.B. der Fuhrpark von Dienststellen unter Berücksichtigung von Verbrauchs- und Emissions-eigenschaften der Fahrzeuge zusammengestellt wird („Vorreiterfunktion“). Die Produkterprobung soll den Bekanntheitsgrad neuer Technologien steigern, erste Erfahrungen bei Betreibern und Kunden auswerten, die Übereinstimmung mit den politischen Zielen überprüfen, die Konsequenzen der neuen Technik ermitteln und offene Fragen aufzeigen.

### **Standards und Auflagen**

Grenzwerte und Normen definieren quantitative Zielstandards über einen längerfristigen Zeitpfad. Sie sind erforderlich, um klare Rahmenbedingungen für den Maßnahmeneinsatz zu erhalten. Die Grenzwerte sollten dynamisch weiterentwickelt werden und die Wirtschaft zu permanenter Innovation herausfordern. Dabei ist eine funktionale Definition von Grenzwerten vorzuziehen, die es den Herstellern freistellt, mit welchen Techniken die Grenzwerte erreicht werden. Durch ein auf europäischer Ebene abgestimmtes Vorgehen wird eine größere Breitenwirkung der technologischen Fortschritte erzielt. Eine Koordination der Umsetzungsstrategien ist auch vor dem Hintergrund der öffentlichen Akzeptanz notwendig.

Alleingänge einzelner Länder sind mit häufig höheren Kosten für die jeweilige Volkswirtschaft und insofern mit Wettbewerbs- und Beschäftigungsnachteilen verbunden. Dennoch können sie in Phasen der Stagnation zu einer Aufbruchstimmung in Richtung auf neue technologische Ziele führen. Wenn man erwarten kann, dass die internationale Gemeinschaft zeitversetzt dem nationalen Vorstoß folgt, so können Wettbewerbsvorsprünge für die inländische Wirtschaft folgen.

Die europäische Politik ist insofern gut beraten, wenn sie mit Blick auf das Kyoto-Protokoll auch im Verkehrsbereich für Europa - trotz der amerikanischen Zurückhaltung - anspruchsvolle Ziele formuliert und zügig umsetzt.

### **Anreize durch Steuern und Zertifikate**

Ein Anwendungshemmnis für neue Verkehrstechnologien liegt darin, daß die konventionellen Technologien oft kostengünstiger sind und daher die Marktverbreitung der Innovationen nicht gelingt oder überaus lange Zeiträume beansprucht. Die staatliche Förderstrategie sollte daher Anreize vermitteln, die auf eine konsequentere und schnellere Marktdurchsetzung hinwirken.

Zur Förderung der Marktdurchsetzung stehen finanzielle Anreize im Mittelpunkt, u.a. Steuerspreizung für die Kfz-Steuer, Steuerbefreiung für alternative Kraftstoffe. Erfahrungen haben gezeigt (z.B. Katalysator, bleifreies Benzin), daß derartige marktbasierende Steuerungsmaßnahmen eine schnellere Durchsetzung erreichen können. Auch Selbstverpflichtungen der Industrie können zur wirksamen Umsetzung beitragen.

Umstritten ist die Tauglichkeit von Öko-Steuern und Zertifikaten. Die Erhebung von Steuern auf den Energieverbrauch oder die CO<sub>2</sub>-Emissionen bewirkt zweifellos Anreize in die richtige Richtung. Die Verbraucher werden zur Ressourceneinsparung und die Industrie zur Entwicklung entsprechender Technologien angeregt. Eine auf Dauer angelegte Öko-Steuer ist aber mit drei Nachteilen verbunden: Erstens führt sie fiskalisch zu unsicheren Einnahmen, denn je besser sie wirkt, um so mehr werden die Betroffenen der Steuer ausweichen. Zweitens ist es schwierig, die Öko-Steuer ohne eine Zweckbindung der Einnahmen durchzusetzen. Es hat sich in Deutschland gezeigt, dass die Verwendung der Einnahmen zur Absenkung der Lohnnebenkosten („doppelte Dividende“) nicht zu der erwünschten umfassenden Akzeptanz geführt hat, weil der Verwendungszweck keine Beziehung zur Einnahmequelle aufweist. Drittens werden die vielfältigen Ausnahmen von den Öko-Steuerregeln als ungerecht und widersprüchlich empfunden.

Aus ökonomischer Sicht bietet sich die Einführung handelbarer CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikate an, weil auf diese Weise der Marktmechanismus für die Schonung von Ressourcen genutzt werden kann. Der Handel mit Emissionsrechten soll im Rahmen des Kyoto-Protokolls zu einem der Hauptinstrumente für die Durchsetzung der CO<sub>2</sub>-Minderungsziele werden. Die Regelungen und Anforderungen aus dem Kyoto-Protokoll beziehen sich bislang auf ein internationales Emissionshandelssystem und nicht auf die Unternehmensebene. Die Nutzung der internationalen Instrumente, vor allem des Clean Development Mechanism (CDM), mit Entwicklungs- und Schwellenländern ist erfolversprechend, weil sie die Chance eröffnet, Länder wie China, Indien oder Brasilien mittelfristig für eigene Beschränkungen zu gewinnen. Die EU setzt derzeit noch stärker auf Maßnahmen vor Ort (Domestic Implementation) und strebt die Implementierung eines EU-weiten Zertifikate-Handels unter Einschluß der Unternehmen bis zum Jahre 2005 an. Die Einführung eines solchen Systems innerhalb von Großunternehmen (Beispiel: BP) hat die positiven Anreizwirkungen des Zertifikatehandels bestätigt. Daher liegt es nahe, dieses Instrument auf der Ebene der Produzenten einzusetzen. Dazu müßten die Hersteller von Fahrzeugen

Emissionszertifikate in Abhängigkeit von der Verbrauchseffizienz ihrer Produkte erwerben<sup>7</sup>. Wenngleich noch eine Reihe von Problemen zu lösen ist<sup>8</sup>, wie zum Beispiel

- Ausgangsverteilung der CO<sub>2</sub>-Zertifikate,
- Festlegung der Indikatoren für den CO<sub>2</sub>-Verbrauch,
- Messung und Überwachung,
- Festlegung der Handelsregeln, der Haftung und der Sanktionen,
- dynamische Bestimmung des Emissionsvolumens,

so deutet sich international eine große Bereitschaft an, dieses Instrument weiter zu entwickeln. Diese Chance sollte zunächst auf europäischer und dann auf weltweiter Ebene genutzt werden.

### **Strategische Partnerschaften**

Zur Weiterentwicklung neuer Verkehrstechnologien ist eine Koordination von Technologie-, Verkehrs- und Industriepolitik zielführend. Eine solche strategische Partnerschaft sollte verkehrsträgerübergreifend angelegt sein und sich auf die verschiedenen Komponenten der Verkehrsprozesse erstrecken (u.a. Fahrzeug, Fahrweg, Fahrwegausstattung, Organisation, Information, Management). Teilweise ist für die Anwendung neuer Technologien eine komplementäre Infrastruktur erforderlich (z.B. Tankstellennetz für Erdgas, Wasserstoffversorgung), die öffentliche Investitionsaktivitäten voraussetzt. Dabei sind die Prozesse der Vorproduktion und der Herstellung von Betriebsmitteln ebenso einzubeziehen wie Entsorgungs- und Verwertungsprozesse.

Ein Beispiel für eine derartige integrierte Technologiepolitik ist das Projekt „Verkehrswirtschaftliche Energiestrategie“ der Bundesregierung, der Mineralölwirtschaft und der Automobilindustrie, das eine Bewertung alternativer Optionen vornimmt und daraus den politischen Handlungsbedarf ableitet. In USA ist die „California Fuel Cell Partnership“ ein Beispiel für Kooperationsmöglichkeiten von Automobilindustrie, Mineralölwirtschaft und Administration für die Demonstration unterschiedlicher Technologien. Für die Luftfahrt in Deutschland ist das von der Bundesregierung ausgeschriebene Luftfahrtforschungsprogramm ein Beispiel für eine strategische Partnerschaft zwischen Wirtschaft, Wissenschaft, Großforschung und Politik. Im Straßenverkehr startet Daimler-Chrysler mit seiner Tochterfirma

---

7 Sollte sich die in neueren US-Amerikanischen Publikationen aufgestellte Vermutung bestätigen, dass auch Partikelemissionen erheblich zum Klimaeffekt beitragen, so muß der Zertifikatehandel auf diesen Schadstoff ausgedehnt werden.

8 Der gegenwärtig vorliegende EU-Vorschlag ist mit verschiedenen Problemen behaftet, z.B. hinsichtlich der großen deutschen Vorleistungen in den letzten Jahren, der Zuteilung von Emissionsrechten zu neu in den Markt kommenden Unternehmen und der Bewertung implizierter CO<sub>2</sub>-Emissionen, z.B. in Vorprodukten und/oder im grenzüberschreitenden Verkehr.

EVOBUS das Projekt NEFLEET. In diesem Projekt werden 30 Busse mit Brennstoffzellen von verschiedenen ÖPNV-Unternehmen in Europa unter realen Bedingungen betrieben.

Diese Beispiele zeigen, dass ein für die Forschung und Entwicklung positives "Klima" bei der öffentlichen Hand zu partnerschaftlichen Lösungen mit der Privatwirtschaft führt, die kräftige Anreizwirkungen ausüben können und sich gegebenenfalls in belastbare Selbstverpflichtungen der Industrie umsetzen lassen. Denn mit zunehmender Ausdehnung des Zukunftshorizontes wächst die Übereinstimmung zwischen öffentlichen und privaten Akteuren über die nötigen Veränderungen der Technik, um die Zukunftsherausforderungen bewältigen zu können.

## 6. Konsequenzen für die Verkehrspolitik

Aufgabe der Verkehrspolitik muß es unter den genannten Rahmenbedingungen sein, die Entwicklung neuer Konzepte und Technologien zu unterstützen und gegebenenfalls zu fördern mit dem Ziel, das zukünftige Verkehrssystem in allen Teilbereichen noch sicherer, umweltverträglicher und leistungsfähiger zu gestalten. Die Verkehrspolitik hat einen maßgeblichen Beitrag zur Erhaltung der Mobilität, zur Verbesserung des Umweltschutzes und der Sicherheit, für eine bedarfsgerechte Verkehrsinfrastruktur und nicht zuletzt für geeignete wettbewerbsgerechte Rahmenbedingungen zu leisten. Das übergeordnete Ziel der Verkehrspolitik muß es sein, die technologische Kompetenz Deutschlands zu erhalten und wenn möglich zu mehren und damit für den Standort Deutschland langfristig Arbeitsplätze zu sichern. Dabei wird es wichtig sein, eine Balance zwischen dem steigenden Mobilitätsbedürfnis der Menschen, dem Verkehrswachstum des Güterverkehrs sowie der Sicherheit im Verkehr einerseits und dem Umweltschutz andererseits herbeizuführen.

Als ein gelungenes Beispiel für das Zusammenwirken von Politik, Wirtschaft und Wissenschaft kann hier das neue Luftfahrtforschungsprogramm der Bundesregierung genannt werden. Hier werden deutlicher als bisher die sozio-ökonomischen Bedürfnisse der Gesellschaft in den Mittelpunkt gestellt und der Ressourcenschonung ein besonderes Gewicht verliehen. Die im Programm in Leit-Konzepten zusammengeführten Technologiearbeiten sollen sich auf die Kompetenzfelder

- treibstoffsparendes, lärm- und emissionsarmes Flugzeug,
- sichere und nachhaltige Verkehrs- und Passagiersysteme und
- innovative Produktions-, Wartungs- und Reparaturtechnologien

konzentrieren. Diese Arbeitsfelder zeigen, daß der Ressourcenschonung eine besondere Bedeutung beigemessen wird.

Wenngleich der Verkehr weltweit zu weniger als einem Viertel zur CO<sub>2</sub>-Emission und damit zu möglichen Klimaproblemen beiträgt, ist die Verkehrspolitik aufgrund des starken Wachstums umweltproblematischer Verkehrsarten besonderes gefordert. Die Herausforderungen für die Verkehrspolitik liegen auf den folgenden Gebieten:

- (1) Die Verbesserung der Umwelteffizienz im Verkehr verlangt die Entwicklung innovativer Technologien, vor allem im Straßen- und Luftverkehr. Forschung und Entwicklung umweltverträglicher Verkehrstechnologien sind daher verstärkt zu fördern. Dabei ist die Koordinierung von öffentlicher und betrieblicher Umweltforschung zielführend. Während die Privatwirtschaft sich primär auf die Entwicklung neuer Techniken und Produkte konzentriert, sollte die staatliche Forschungsförderung produktneutral sein und in erster Linie das funktionale Ergebnis in Form des Beitrages zur Ressourcenschonung in den Vordergrund stellen.
- (2) Die Forschung auf dem Gebiet der Verkehrstechnologie wird unter anderem durch die Forschungsprogramme der Europäischen Kommission gefördert. Der Beirat empfiehlt, unter aktiver Unterstützung von BMBF, BMWi und BMVBW Exzellenznetzwerke und integrierte Projekte in das 6. Rahmenprogramm der EU einzubringen, um zukunftssträchtige Linien der Umweltforschung im Verkehr mit maßgeblicher Beteiligung deutscher Industrieunternehmen und Forschungsinstitutionen aufzubauen.
- (3) Vielfach benötigen neue Fahrzeug- oder Antriebstechniken technologiebegleitende Infrastrukturen auf der Versorgungs- oder Entsorgungsseite. Bei der Forschung und Entwicklung für neue Infrastrukturen hat die öffentliche Hand eine Vorreiterrolle, die über entsprechende Initiativen in der Grundlagenforschung auszufüllen ist.
- (4) Wenngleich der Beirat von einer produktbezogenen Forschungsförderung im Grundsatz abrät, so kann doch die staatliche Anschubfunktion in einer Phase gerechtfertigt sein, in der die neue Technik aufgrund von geringen Stückzahlen nicht mit der bestehenden Technik konkurrieren kann. Hier können Finanzhilfen für Demonstrations- und Pilotprojekte die Chancen neuer Techniken wirksam fördern. Auch kann das staatliche Beschaffungswesen Pilot-Technologien unterstützen.
- (5) Mittelfristig vorausschaubare Standards und Normen sind verlässliche Rahmenbedingungen für die Privatwirtschaft. Am Beispiel der Euro-Standards zeigt sich die hohe Wirksamkeit anspruchsvoller, aber erreichbarer dynamischer Rahmenvorgaben.
- (6) Das klassische staatliche Anreizinstrument besteht in der Besteuerung. So kann in Deutschland die Kraftfahrzeugsteuer noch stärker auf den Ressourcenverbrauch bezogen werden. Der Beirat empfiehlt, dass an Stelle des Zylind-

dervolumens der DIN-Verbrauch der Fahrzeuge die Bemessungsgrundlage für die Kraftfahrzeugbesteuerung darstellt.

- (7) Die Besteuerung des Kraftstoffverbrauchs geht prinzipiell in die richtige Richtung und vermittelt die geeigneten Anreize für Verbraucher und Wirtschaft. Allerdings haben sich bei der Umsetzung der Ökosteuer in der Bundesrepublik einige Probleme ergeben, welche die Akzeptanz dieser Steuer vermindern.
- (8) Eine international symmetrische steuerliche Behandlung aller Verkehrsträger sollte eine Zielvorstellung europäischer Politik sein.
- (9) Aus ökonomischer Sicht ist vor allem die Einführung handelbarer CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikate ein geeignetes Instrument für die Verminderung des Ressourcenverbrauchs. Zertifikate-Handel bewirkt ein elementares marktwirtschaftliches Interesse an einem verminderten Ressourcenverbrauch pro Wertschöpfungseinheit. Der Handel mit Emissionsrechten gehört zu den Hauptinstrumenten für die Durchsetzung des Kyoto-Protokolls, und er verspricht über den innovativen und international ausgerichteten Clean Development Mechanism eine große Breitenwirkung, da die Entwicklungs- und Schwellenländer einbezogen werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Kosten derartiger internationaler Maßnahmen innerhalb Deutschlands/Europas über ökosteuerartige Instrumente aufgebracht werden. Hierbei geht es auch um die Erschließung von intersektoralen und internationalen Optimierungsmöglichkeiten.
- (10) Die Entwicklung von Großtechnologien oder Technologien mit begleitenden Infrastrukturen verlangt zunehmend die Koordination von Technologiepolitik, Verkehrspolitik und Industriepolitik. Der Beirat empfiehlt, die strategischen Partnerschaften zwischen Wirtschaft, Wissenschaft, Forschung und Politik zu intensivieren. Dies sollte mit Selbstverpflichtungen der Wirtschaft zur Erreichung gemeinsamer Reduktionsziele einhergehen.